Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy

OPEN ACCESS JOURNAL

مقاله پژوهشی

مجله بلورشناسی و کانی شناسی ایران

سال سی و دوم، شمارهٔ دوم، تابستان ۱۴۰۳، از صفحهٔ ۲۲۷ تا ۲۴۲

مجله بلورشناسی و کانی شناسی ایران

زمین‌شناسی، زمین شیمی و کانی‌شناسی در پهنه‌های دگرسانی و ماده معدنی در منطقه اکتشافی مس کلاته برق، شمال غرب بردسکن

محدثه ابراهیمی[۱]، محمد حسن کریم‌پور[*۲]، علیرضا مظلومی بجستانی[۳]

۱-گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

۲-گروه زمین‌شناسی و گروه پژوهشی اکتشاف ذخایر معدنی شرق ایران، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

۳-گروه زمین‌شناسی، دانشگاه پیام نور مشهد، مشهد، ایران

(دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۵/۲۸، نسخه نهایی: ۱۴۰۲/۸/۱۵)

چکیده: منطقه اکتشافی مس کلاته برق در شمال‌غربی بردسکن، استان خراسان رضوی واقع است. واحدهای سنگی در منطقه مورد بررسی شامل توالی از سنگ‌های آتشفشانی ائوسن با طیف ترکیبی بازالت و سپس تراکی آندزیت و آندزیت است. روی این مجموعه، واحد کنگلومرایی قرار دارد که قطعه‌های آن بیشتر از سنگ‌های آتشفشانی تشکیل شده‌اند. تخلخل بالای کنگلومرا به عنوان سنگ میزبان محیط مناسبی برای تشکیل کانسارهای مس مانتو را در این پنجره فراهم کرده و کانی‌سازی در افق ویژه‌ای واحد کنگلومرایی رخ داده است. کانی‌شناسی ماده معدنی شامل کانی‌های اولیه کالکوزیت و کمی بورنیت است و کانی‌های ثانویه نیز مالاکیت و کوولیت هستند که از این میان، کالکوزیت مهمترین کانی سولفیدی در منطقه به حساب می‌آید. ساخت و بافت ماده معدنی بصورت رگچه‌ای، پرکننده، پراکنده و جانشینی است. کانی‌شناسی دگرسانی در ارتباط با کانه‌زایی کلریت و کلسیت است. بی‌هنجاری زمین شیمی مس در نمونه‌های سطحی ۱/۴ درصد است. وجود کالکوزیت، نبود یا مقدار کم کانی‌های سولفیدی آهن‌دار، حضور کلریت و کلسیت به عنوان کانی باطله اصلی و نبود کوارتز نشان دهنده یک محلول کانه‌دار احیایی و فقیر از آهن و سیلیس است. شواهد سنگ‌شناسی، دگرسانی، کانی‌شناسی و زمین‌شیمی منطقه اکتشافی کلاته برق شبیه به ذخایر مس مانتو است.

واژه‌های کلیدی: *کانی‌شناسی؛ کالکوزیت؛ کنگلومرا؛ زمین‌شیمی؛ چینه‌کران؛ مس مانتو؛ بردسکن.*

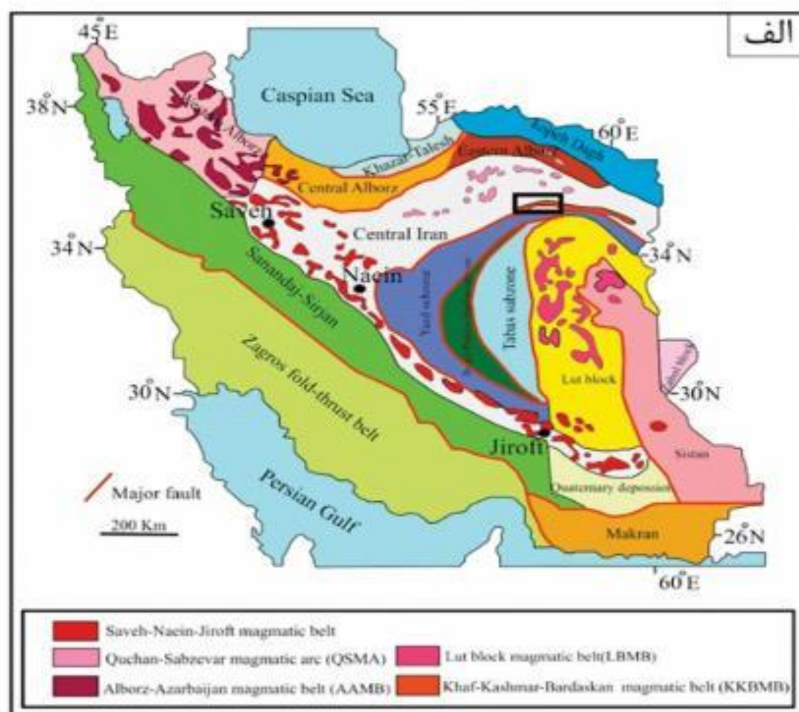
مقدمه

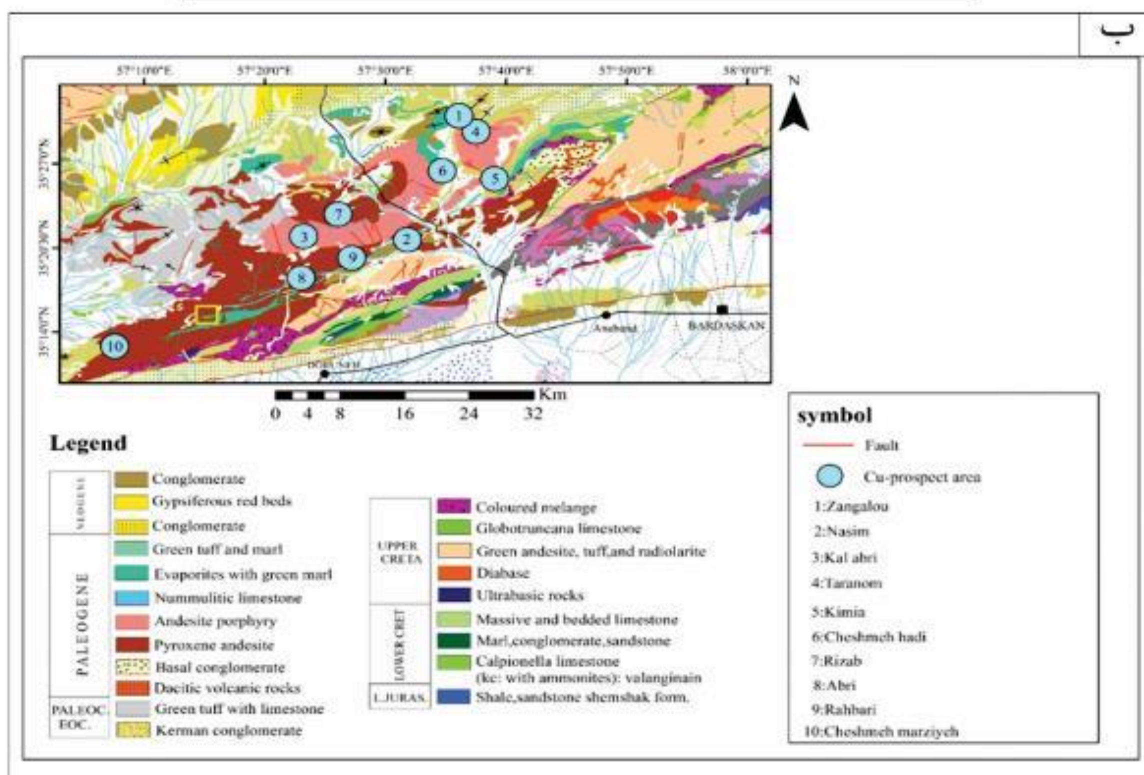
رخداد معدنی مس کلاته برق در ۷۵ کیلومتری شمال‌غربی بردسکن، در شمال‌غربی روستای درونه و بین طول‌های جغرافیایی ″۳۲ ′۱۴ °۵۷ تا ″۰۰ ′۱۸ °۵۷ و عرض‌های جغرافیایی ″۰۰ ′۱۳ °۳۵ تا ″۰۹ ′۱۷ °۳۵ قرار دارد. منطقه مورد بررسی برپایه نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ درونه [۱]، بخشی از مجموعه آتشفشانی شمال غرب بردسکن بوده که با کنگلومرا، سنگ آهک و مارن پوشیده شده است (شکل ۱ الف). وجود چند معدن متروکه مس همراه با آثار شدادی، کوره‌های ذوب و سرباره فراوان همراه با نهشته‌های متعدد، نشان‌دهنده اهمیت کانه‌زایی مس و قابلیت اکتشافی بالای این مجموعه در شمال شرق ایران است. از مهمترین ذخایر این مجموعه می‌توان به کانسار مس مانتو کال ابری [۲]، کیمیا [۳]، زنگالو [۴]، چشمه مرضیه [۵]، نسیم [۶] اشاره کرد (شکل ۱ ب). منطقه کلاته برق برای نخستین بار از نظر علمی در این پژوهش با هدف تعیین چگونگی تشکیل کانی‌سازی مس در منطقه بررسی شده است. از آنجا که کانی‌سازی بیشتر در افق کنگلومرایی هممرز با واحد آهکی دیده می‌شود، چگونگی تشکیل ماده معدنی برپایه برداشت اطلاعات هدفمند زمین‌شناسی بررسی گردیده است. همچنین کانی‌سازی و

*نویسنده مسئول، تلفن: ۰۵۱۳۳۸۸۰۵۴۸۸، پست الکترونیکی: karimpur@um.ac.ir

[DOI: 10.61186/ijcm.32.2.227]

زمین‌شیمی ماده معدنی در سطح بررسی شده و سرانجام با توجه به دیگر ذخایر مس مانتو در شمال غرب بردسکن، الگوی مناسبی برای تشکیل این ذخایر در این پنجره فلززایی ارائه گردیده است.





شکل۱ الف) موقعیت منطقه شمال غرب بردسکن در پهنه ایران مرکزی [۷، ۸]؛ ب) موقعیت قابلیت‌های معدنی مس شمال غرب بردسکن بر نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ کاشمر برگرفته از مرجع [۹] همراه با تغییرات.

[DOI: 10.61186/ijcm.32.2.227]

روش بررسی

در راستای اهداف این پژوهش، نخست نتایج پیشین شامل نقشه‌ها و گزارش‌ها جمع آوری و بررسی شدند. پژوهش در دو بخش صحرایی و آزمایشگاهی انجام شد. پس از پیمایش‌های صحرایی و برداشت ۱۰۰نمونه سنگی از واحدهای مختلف زمین‌شناسی و ۶۰ نمونه از رخنمون‌های ماده معدنی و درون ترانشه‌ها، نمونه‌های مناسب برای بررسی‌های آزمایشگاهی انتخاب و آماده شدند.

۳۰ مقطع نازک برای بررسی‌های سنگ‌نگاری، دگرسانی و تهیه نقشه زمین‌شناسی آماده شد. بررسی ساخت و بافت و کانی‌شناسی ماده معدنی با تهیه ۱۰ مقطع قطعه صیقلی و نازک صیقلی انجام شد. در این پژوهش برای بررسی‌های زمین-شیمیایی از نتایج ۹۵ نمونه برداشت شده از ترانشه‌های اکتشافی که به روش جذب اتمی در آزمایشگاه مجموعه معادن تکنار تجزیه شده اند، استفاده گردید [۱۰].

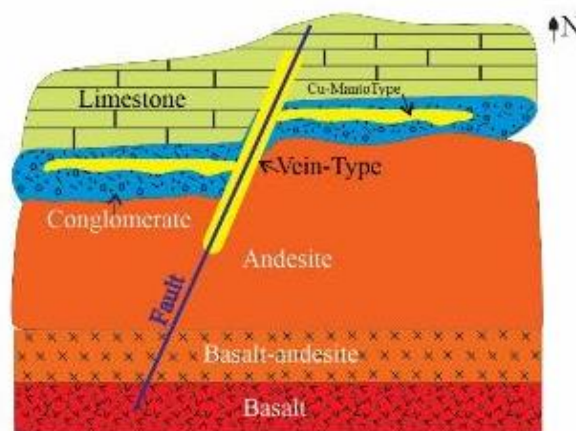
زمین‌شناسی ناحیه‌ای

منطقه مورد بررسی در شمال غرب بردسکن، از نظر ساختاری-زمین‌شناسی ایران در پهنه سبزوار و دربخش میانه نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ درونه واقع است. زمین‌شناسی شمال غرب بردسکن با توالی از سنگ‌های آتشفشانی شروع می‌شود که قاعده آن بازالت است و سپس با تراکی‌آندزیت و آندزیت دنبال می‌شود. این مجموعه حدود ۱۵۰۰ متر ضخامت دارد. پس از توقف فعالیت آتشفشانی و شروع فرآیند فرسایش در یک محیط رودخانه‌ای در بخش بالایی این توالی آتشفشانی، واحد کنگلومرایی تشکیل شده است. این کنگلومرا دربردارنده بیش از ۹۰ درصد قطعه‌های سنگ‌های آتشفشانی و گاهی توده‌های نفوذی درحد مونزونیت و دیوریت بوده و ضخامت آن بین یک تا حدود ۲۵ متر متغیر است. به‌تدریج با پیشروی دریا و تشکیل محیط دریایی، سنگ آهک تشکیل شده که دربردارنده نومولیت است. نوع و جنس قطعه‌ها و نوع سیمان کنگلومرا در بخش‌های مختلف متفاوت است. قطعه‌های کنگلومرا در بخش‌های نزدیک به سنگ‌های آتشفشانی از این واحدها تشکیل شده است، در حالی که در سمت سنگ آهک، بیشتر کنگلومرا ترکیب آهکی دارد. کنگلومرا به دلیل تخلخل بالا بهترین میزبان برای کانی-سازی نوع مانتو در منطقه است. هرجا که تخلخل کنگلومرا بیشتر بوده کانی‌سازی بیشتر در پنجره شمال غرب بردسکن رخ داده است. در پایان توالی رسوبی، سنگ‌های مارنی و لای سنگ دیده می‌شوند. سپس همه این مجموعه سنگی در شمال غربی بردسکن دچار چین‌خوردگی شده است (شکل ۲).

زمین‌شناسی منطقه کلاته برق

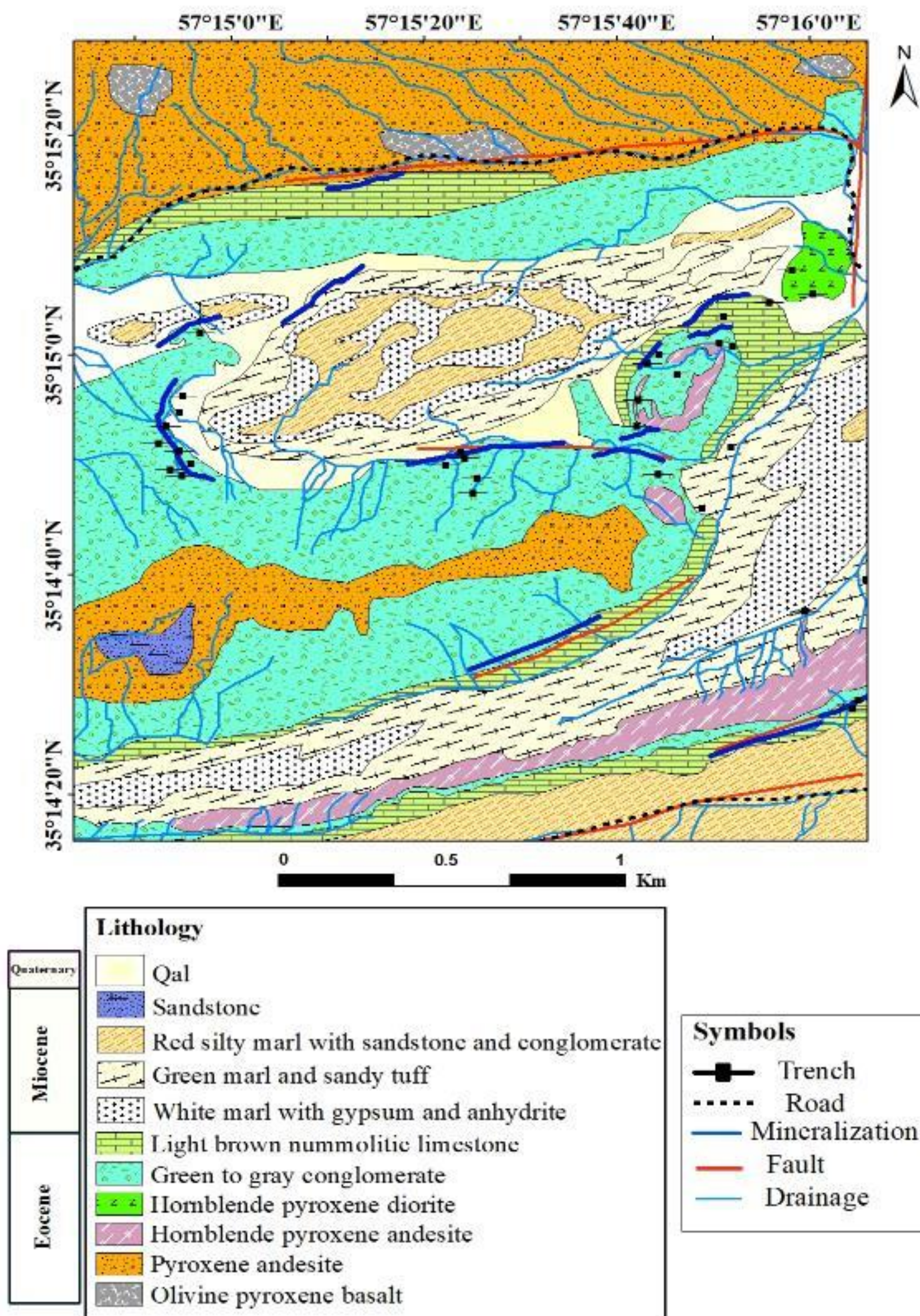
براساس بازدیدهای صحرایی در منطقه کلاته برق هم این توالی از سنگ‌های آتشفشانی و رسوبی دیده می‌شود. واحدهای آتشفشانی به سن ائوسن ترکیب اولیوین‌بازالت، آندزیت و پیروکسن آندزیت دارند.

بازالت: واحدهای بازالتی در دید صحرایی به رنگ خاکستری تیره و بیشتر در شمال منطقه رخنمون دارند و از نظر ریخت-شناسی، ارتفاع زیادی ندارند (شکل ۳). بافت این واحد پورفیری است و پلاژیوکلاز، پیروکسن و الیوین بعنوان درشت بلور به خوبی در آن دیده می‌شوند (شکل ۴ الف).



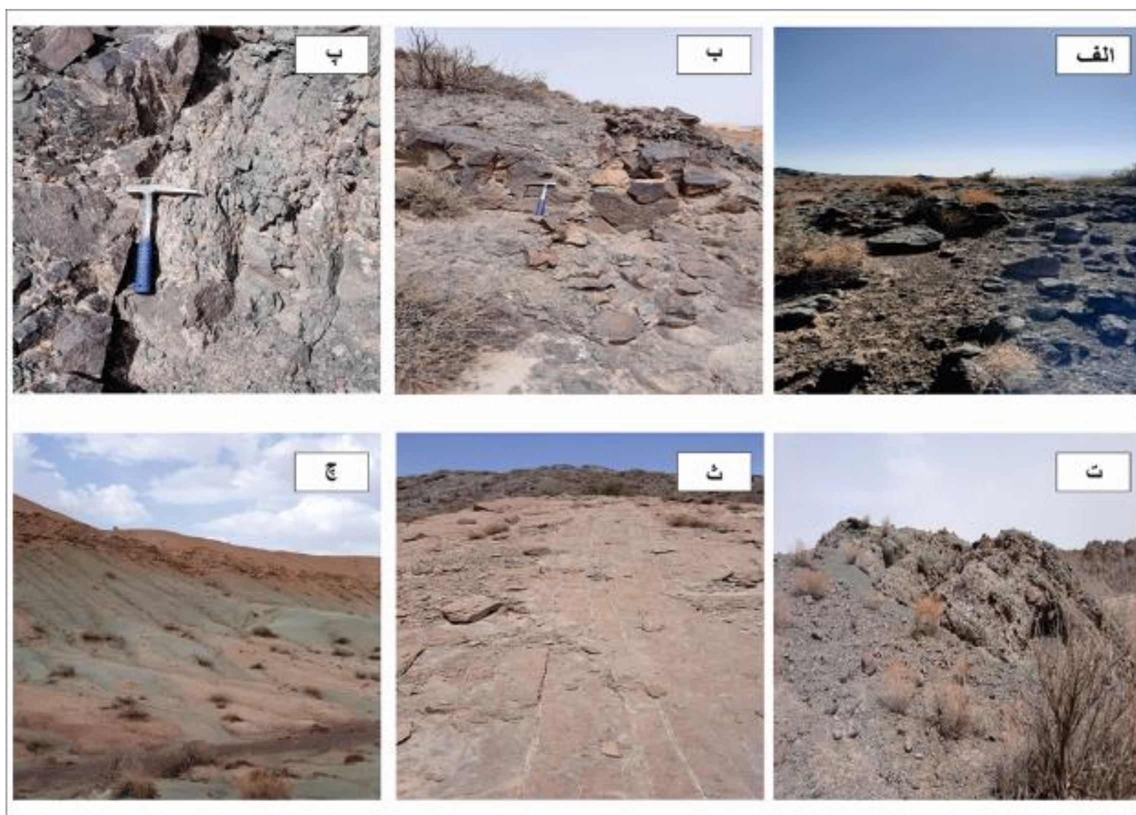
شکل۲ طرحواره ای از واحدهای رخنمون یافته در منطقه همراه با موقعیت کانی‌سازی.

[DOI: 10.61186/ijcm.32.2.227]



شکل۳ نقشه زمین‌شناسی-کانی‌سازی منطقه اکتشافی کلاته برق.

[DOI: 10.61186/ijcm.32.2.227]



شکل۴ تصاویری از واحدهای سنگی منطقه کلاته برق: الف) واحد الیوین بازالت (دید به سمت شمال غربی)، ب) واحد آندزیتی تیره رنگ(دید به سمت شمال غربی)، پ) واحد هورنبلند پیروکسن دیوریت، ت) واحد کنگلومرایی (دید به سمت جنوب غربی)، ث) واحد سنگ‌آهک نومولیتی همراه با رگچه‌های کلسیتی، چ) واحد مارن.

آندزیت: از دیگر واحدهای منطقه مورد بررسی می‌توان به واحدهای آندزیتی اشاره کرد. این واحدهای سنگی از یک روند شمال شرقی – جنوب غربی پیروی می‌کنند (شکل ۳). این واحدها از نظر ریخت‌شناسی مرتفع‌تر هستند و در دید صحرایی به رنگ خاکستری تیره تا سبز تیره دیده می‌شوند (شکل ۴ب). آنها دارای بافت‌های پورفیری-گلومروپورفیری با زمینه دانه‌ریز تا متوسط هستند و اغلب پلاژیوکلازها به‌عنوان درشت بلور حجم قابل توجهی از سنگ را شامل می‌شوند. در برخی بخش-ها، نواحی واحدهای آندزیتی دارای مالاکیت به صورت پراکنده هستند. دگرسانی قابل دیده در این واحدها کلریت، کلسیت و اکسیدآهن بوده که با مقادیر متفاوت رگچه، پراکنده و یا بصورت جانشینی هستند.

هورنبلند پیروکسن دیوریت: این واحد تنها توده نفوذی است که رخنمون بسیار محدودی در شمال شرقی منطقه دارد (شکل ۳). این واحد در دید صحرایی به رنگ خاکستری تیره تا روشن دیده می‌شود و از نظر ریخت‌شناسی پست و هموار است. بافت پورفیری با زمینه دانه درشت شامل بلورهای پلاژیوکلاز و پیروکسن در آن قابل شناسایی است (شکل ۴ پ). کلریت که اغلب در نتیجه دگرسانی پیروکسن ایجاد شده است، بقایایی از الیوین ادنگزیتی شده، سلادونیت و کربنات از جمله کانی‌های ثانویه این واحد هستند.

کنگلومرا: واحد کنگلومرایی در بین همه واحدهای سنگی منطقه مورد بررسی بیشترین گستردگی را داشته و بیشتر در بخش‌هایی از شمال، شمال‌غرب و جنوب منطقه رخنمون دارد (شکل ۳). این واحد سنگی در نقشه۱:۱۰۰۰۰۰ درونه به سن میوسن معرفی شده است، اما باتوجه به بررسی‌های سنگ‌نگاری و سنگواره‌شناسی، حضور نومولیت می‌تواند گویای سن ائوسن برای این واحد باشد.

واحد کنگلومرایی درصحرا به رنگ سبز تا خاکستری تیره و در برخی مناطق با درون‌لایه‌هایی از مارن و ماسه سنگ قرمز رنگ دیده می‌شود. واحد کنگلومرایی چندخاستگاهی است و قطعه‌ها از جمله شامل پیروکسن آندزیت با زمینه کدر،

[DOI: 10.61186/ijcm.32.2.227]

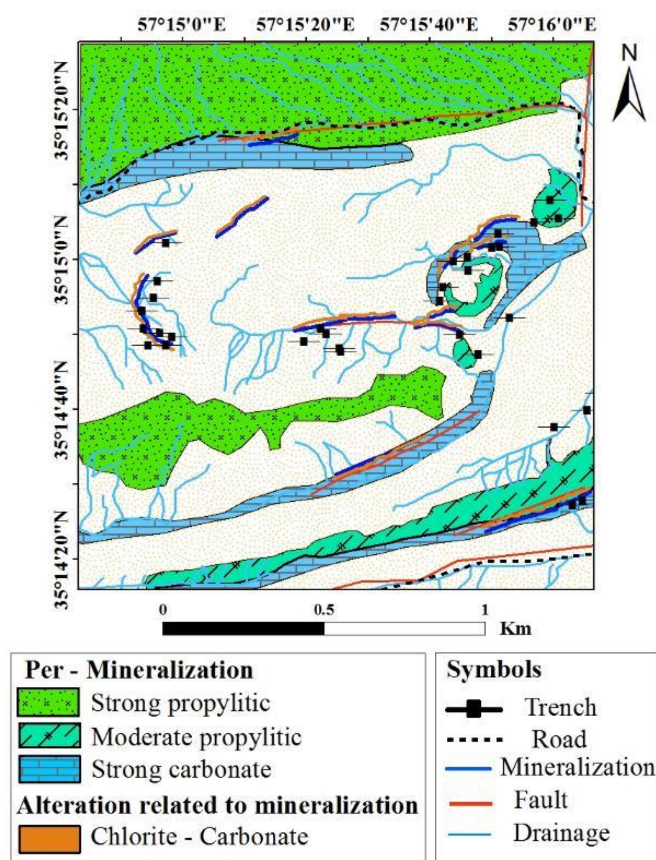
پیروکسن آندزیت با زمینه روشن، پیروکسن آندزیت با زمینه اکسیدآهن، پیروکسن بازالت، پیروکسن گابرو، تراکیت و پیروکسن تراکی آندزیت با زمینه کدر هستند. اندازه این قطعه-ها نیز بسیار متفاوت است و بر این اساس بازدیدهای صحرایی، گاهی به بیش از ۲۰ سانتی‌متر می‌رسد که گردشدگی به نسبت خوبی دارند و از نظر جورشدگی ضعیف هستند. قطعه‌های این واحد دارای سیمانی با ترکیب آتشفشانی هستند و در افق‌های بالاتر با سیمان کربناتی در کنارهم قرار گرفته‌اند. این واحد میزبان اصلی کانی‌سازی در منطقه است (شکل ۴ ت).

واحد کربناتی: سنگ‌آهک نومولیتی با طیف رنگی کرم تا قهوه‌ای روشن در شمال‌شرقی، غرب و جنوب منطقه مورد بررسی گسترش دارد (شکل۳). این واحد ضخامت چندانی ندارد و بسیار نرم و شکننده است. همچنین این واحد دارای سنگواره‌های فراوان نومولیت است که از ویژگی‌های محیط‌های زیردریایی بوده و نشان‌دهنده سن ائوسن برای این واحد است (شکل ۴ث).

واحد مارنی با طیف رنگی کرم، سبز و قرمز رنگ در مرکز منطقه مورد بررسی بیشترین گسترش را دارد و در سایر بخش‌های منطقه نیز دیده می‌شود (شکل ۳). این واحدها تناوبی از لای سنگ قرمز، مارن لای‌دار با میان‌لایه‌هایی از ماسه سنگ و کنگلومرا قرمز هستند (شکل ۴چ).

دگرسانی

دگرسانی در منطقه مورد بررسی در دو مرحله قابل بررسی است: (۱) دگرسانی پیش از کانی‌سازی که سنگ‌های آتشفشانی و توده‌های نفوذی منطقه دست کم در دو مرحله دچار آن شده‌اند و (۲) دگرسانی در ارتباط با کانی‌سازی که بطور کامل متفاوت از دگرسانی‌های مرحله نخست است. دگرسانی پیش از کانی‌سازی بیشتر پروپیلیتی با شدت‌های مختلف یا کربناتی شدید است و ارتباطی با پهنه‌های کانی-سازی نداشته و گسترش قابل توجهی دارد. این در حالی است که دگرسانی‌های در ارتباط با کانی‌سازی شامل دگرسانی کربناتی-کلریتی است و فقط پیرامون پهنه کانی‌سازی دیده می‌شود (شکل ۵).

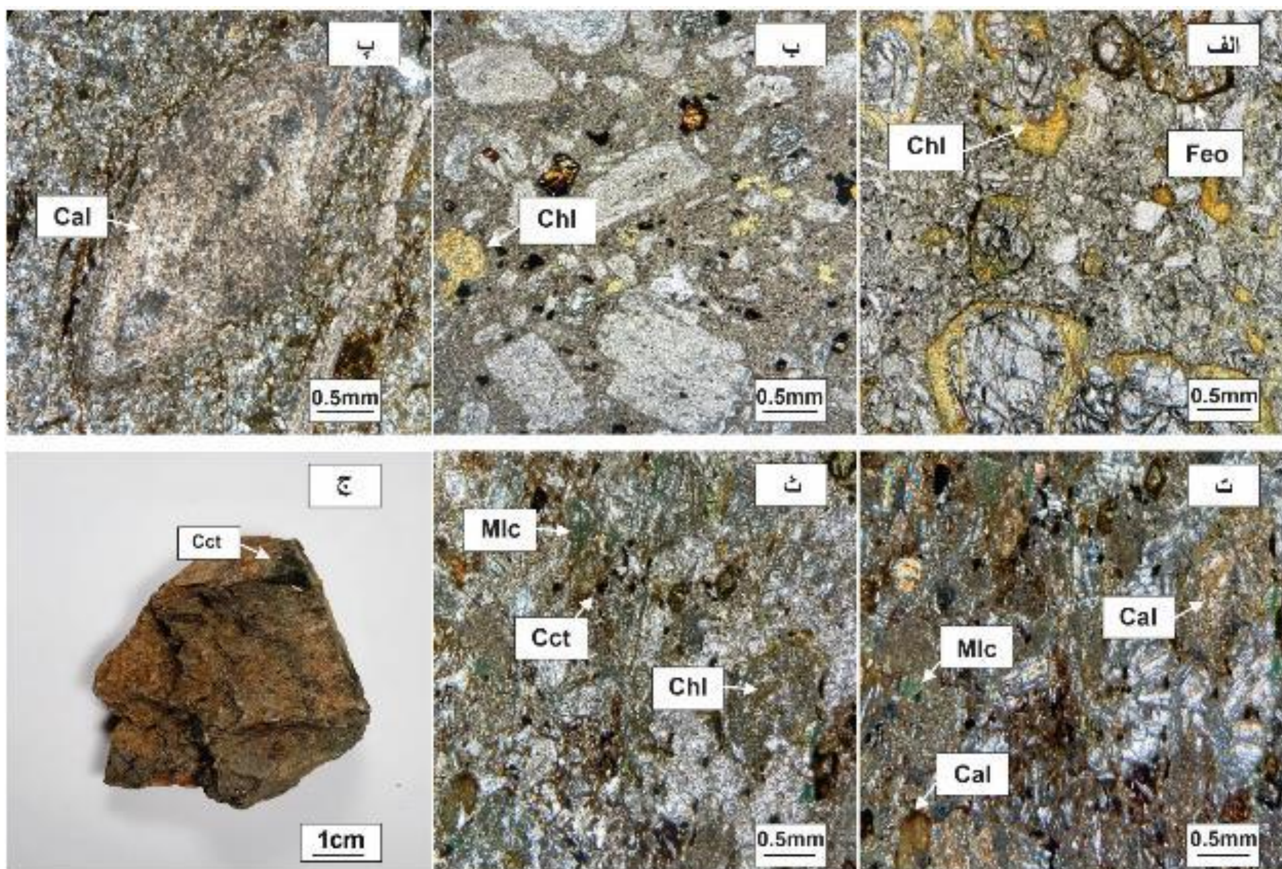


شکل۵ نقشه دگرسانی- کانی‌سازی منطقه اکتشافی کلاته برق.

[DOI: 10.61186/ijcm.32.2.227]

دگرسانی پروپیلیتی شدید: این دگرسانی در شمال شرقی- جنوب غربی منطقه و بیشتر در واحدهای الیوین بازالت و واحد پیروکسن آندزیت دیده می‌شود (شکل ۵). کلریت و کلسیت به عنوان کانی اصلی و سرسیت کانی فرعی این دگرسانی شناخته می‌شوند. کلریت به مقدار ۳۰-۳۵ درصد به‌صورت پراکنده در زمینه، پرکننده حفره‌ها و شکستگی‌ها و رگچه‌ای پیرامون پیروکسن و الیوین دیده می‌شود. در واحد آندزیتی، حفره‌ها در لبه‌ها کلریتی و در مرکز کربناتی شده و بطور متوسط ۱۵-۱۰ درصد حفره‌ها ازکربنات کلسیم پرشده‌اند. در واحد الیوین بازالت، درز و شکستگی‌های پیروکسن و الیوین با اکسید آهن پرشده‌اند. پلاژیوکلازها نیز از مرکز به لبه بلور بطور متوسط ۱۰-۱۵ درصد سرسیتی شده‌اند. واحد پیروکسن آندزیت دارای زمینه کربناتی و پلاژیوکلازهای ریزتا متوسط‌دانه اغلب ۳۰-۲۵ درصد سرسیتی و کربناتی شده‌است (شکل ۶ الف).

دگرسانی پروپیلیتیک متوسط: این دگرسانی در شمال شرقی تا جنوب غربی منطقه در واحدهای هورنبلند پیروکسن آندزیت و هورنبلند پیروکسن دیوریت دیده می‌شود (شکل ۵). کانی‌های اصلی این دگرسانی را کلریت و مقدار کمترکربنات و سرسیت تشکیل می‌دهند. کلریت به مقدار ۱۵-۲۰ درصد به صورت پراکنده در زمینه و پرکننده فضای خالی دیده می‌شود و بلورهای درشت دانه پلاژیوکلاز از مرکز به لبه سرسیتی و کربناتی شده‌اند. بعضی از پلاژیوکلازها تا حدود ۶۰-۵۵ درصد دگرسان شده‌اند. همچنین بلورهای ریز آن نیز در زمینه کربناتی بصورت پراکنده دیده می‌شوند (شکل ۶ ب).



شکل۶ تصاویرمیکروسکوپی از انواع دگرسانی درواحدهای آتشفشانی و میزبان کانی‌سازی منطقه اکتشافی کلاته برق: الف) درزوشکستگی‌ها پیرامون پیروکسن و الیوین پرشده با کلریت و اکسیدآهن در واحدالیوین بازالت (در نور قطبیده صفحه‌ای، PPL)، ب) بلورهای پیروکسن کلریتی شده در واحد هورنبلند پیروکسن آندزیت، پ) سنگواره نومولیت کربناتی شده وکانی‌های کلریت و زمینه کربناتی در واحد سنگ‌آهک نومولیتی (PPL)، ت و ث) دگرسانی‌های کلریتی و کربناتی در واحد کنگلومرایی دارای کانی‌سازی(PPL)، ج) نمونه دستی از واحد کنگلومرایی دربردارنده کانی‌سازی با دگرسانی کربناتی در نور قطبیده متقاطع، XPL)، (Cal : کلسیت، Chl : کلریت، Cct:کالکوزیت، Mlc: مالاکیت [۱۱]).

[DOI: 10.61186/ijcm.32.2.227]

دگرسانی کربناتی شدید: این نوع دگرسانی در راستای شمال شرقی- جنوب غربی در واحد سنگ‌آهک نومولیتی و مقدار کم در واحدهای آندزیتی دیده می‌شود (شکل ۵). کلسیت مهمترین کانی این پهنه است که به‌صورت جانشینی در پلاژیوکلاز و کانی‌های مافیک، رگچه‌ای، جانشینی در قالب سنگواره و پرکننده حفره‌ها قابل تشخیص است. رگچه‌های کلسیتی موجود در سنگ‌آهک نومولیتی دربردارنده شواهد کانی‌سازی سطحی ضعیف در قالب کانی‌مالاکیت بوده‌اند. پلاژیوکلازها گاهی تا ۳۵ ٪ به کلسیت تبدیل شده‌اند. حفره‌های موجود در واحدهای آندزیتی نیز از لبه یا مرکز حدود ۲۰ ٪ با کلسیت پرشده اند. کانی‌سازی در واحد سنگ آهک باخروج کلسیم از آن و باز ته‌نشست آن به‌شکل رگچه‌های کلسیت همراه بوده است (شکل ۶ پ).

دگرسانی کلریتی- کربناتی: دگرسانی کلریتی- کربناتی به دلیل فعالیت‌های سیال کانه‌ساز در منطقه مورد بررسی رخ داده و در ارتباط با کانی‌سازی است (شکل ۵). این دگرسانی در مناطق کانی‌سازی شدت بیشتری دارد و با فاصله گرفتن از نواحی کانی‌سازی، شدت آن کم می‌شود. بر این اساس، پیرامون پهنه‌های کانی‌سازی کانی‌های کلریت و کربناتی دیده می‌شوند. پلاژیوکلازها بطور متوسط ۵۵-۵۰ درصد به کلسیت تبدیل شده‌اند و پیروکسن‌ها از لبه به مرکز حدود ۳۰-۲۵ درصد کلریتی شده‌اند (شکل‌های ۶ ت،ث،ج).

کانی‌سازی

کانی‌سازی در منطقه اکتشافی کلاته برق در سنگ میزبان کنگلومرایی هم مرز با سنگ آهک رخ داده است. روند گسل‌های منطقه بیشتر شمال‌شرق- جنوب‌غرب و شرقی- غربی است. اغلب گسل‌ها مسیر مناسبی برای مهاجرت محلول‌های کانه‌دار از عمق به سطوح بالاتر و مکان مناسب برای جای‌گیری ذخیره معدنی فراهم کرده‌اند. کانی‌سازی در افق ویژه‌ای از واحد کنگلومرایی هم مرز با واحد سنگ آهک دیده می‌شود، به طوری که لایه‌های سنگ‌آهکی در برابر مهاجرت محلول‌های کانه‌دار واحد کنگلومرایی به‌صورت سد عمل کرده و محلول سولفیدهای مس خود را برجای گذاشته‌اند. واحد کنگلومرایی دارای قطعه‌های با ویژگی‌های متفاوت از نظر جنس، اندازه، شکل دانه‌ها، بافت، جورشدگی و گردشگی است و تخلخل و نفوذپذیری بهتری نسبت به سایر واحدهای منطقه دارد و کانی‌سازی در داخل قطعه های کنگلومرا و زمینه آن دیده می‌شود. پیش‌بینی می‌شود که در چنین کنگلومراهایی که تعداد قطعه‌های کمتر، جورشدگی بهتر و کمی زاویه دارند، شرایط برای کانی‌سازی مساعدتر باشد. از این رو، کانی‌سازی کاملا کنترل سنگ‌شناسی دارد. دگرسانی در ارتباط با رگه‌های کانی‌سازی اغلب کلریتی و کربناتی است. کانی‌سازی بیشتر به صورت رگه-رگچه‌ای، پرکننده فضای خالی، پراکنده و جانشینی دیده می‌شود. کانی‌های اولیه کالکوزیت و بسیار کم بورنیت و کانی‌های ثانویه شامل مالاکیت و بسیار جزئی کوولیت هستند.

کانی‌شناسی ماده معدنی

کالکوزیت: کالکوزیت مهمترین و فراوان‌ترین کانی اولیه مس در منطقه اکتشافی کلاته برق است که به‌صورت رگچه‌ای، پراکنده و پرکننده فضای خالی دیده می‌شود. بافت رگچه‌ای و پراکنده کالکوزیت با همراهی کلسیت در واحد کنگلومرایی منطقه دیده می‌شود. این کانی حدود۱۰ تا ۱۵ درصد حجم سنگ را شامل می‌شود. این کانی از لبه شکستگی‌ها درحال تبدیل به مالاکیت و کمتر کوولیت بوده و گاهی بطورکامل تبدیل شده است (شکل ۷ الف).

بورنیت: بورنیت با فراوانی کمتر از ۰/۲ درصد در واحد کنگلومرایی همراه با کالکوزیت در مقاطع میکروسکوپی قابل شناسایی است (شکل ۷ ب).

کوولیت: کوولیت به شکل جانشینی در لبه و محل شکستگی‌های کالکوزیت کمتر از ۰/۱ درصد دیده می‌شود (شکل ۷ ب).

مالاکیت: مالاکیت فراوان‌ترین کانی ثانویه مس است که جانشین کالکوزیت شده است. مقدار این کانی حدود ۲۰-۱۵ درصد حجم سنگ در واحدکنگلومرایی را به خود اختصاص می‌دهد. به‌علت جانشینی مالاکیت به‌جای کالکوزیت، این کانی بصورت رگچه، پراکنده و پرکننده فضای‌خالی دیده می‌شود (شکل ۷ پ).

ساخت و بافت

رگچه‌ای: این نوع ساخت و بافت در کانی کالکوزیت در واحدکنگلومرایی دیده می‌شود. کالکوزیت در بخش‌هایی از رگچه‌ها بیشتر به مالاکیت تبدیل شده است و گاهی باقی‌مانده‌هایی از کالکوزیت همراه با کلسیت دیده می‌شود (شکل۷ ت).

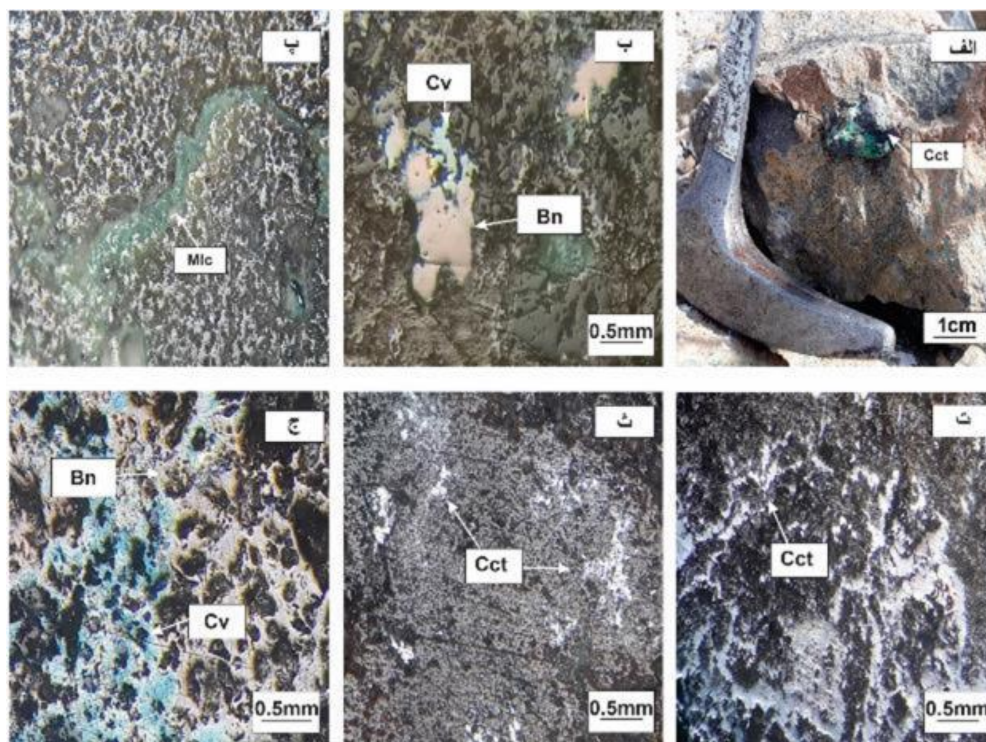
دانه پراکنده: بافت دانه پراکنده در واحد میزبان کانی‌سازی دیده می‌شود. کانی‌های غالب این بافت کالکوزیت است. در واحد کنگلومرایی به‌دلیل تخلخل، فضای مناسب برای ته‌نشینی فراهم شده است (شکل ۷ ث).

[DOI: 10.61186/ijcm.32.2.227]

جانشینی: بافت جانشینی در بیشتر نمونه‌ها قابل دیده می‌شود. کانی‌های مالاکیت و کمتر کوولیت جانشین کانی کالکوزیت شده‌اند (شکل ۷ ج).

توالی همبرزایی

توالی همبرزایی در منطقه اکتشافی کلاته برق به دو بخش پهنه درونزاد و پهنه برونزاد یا اکسیدی تقسیم می‌شود. در مرحله درونزاد، نخست محلول کانه‌دار احیایی و فقیر از آهن شکل گرفته از عمق از راه فضاها و شکستگی‌های ایجاد شده توسط گسل‌ها به سمت سطح حرکت کرده و در سنگ میزبان با تخلخل و نفوذپذیری بالا سبب ته‌نشست سولفیدهای اولیه مس چون کالکوزیت می‌شود. پس از کانی‌زایی درونزاد، اثر هوازدگی در رخنمون‌های سطحی به صورت اکسایش و واکنش‌های شیمیایی در سطح باعث تبدیل کانی‌های اولیه به کانی‌های ثانویه از جمله مالاکیت و کوولیت شده است (شکل ۸).



شکل ۷ تصاویر ماکروسکوپی و میکروسکوپی از کانی‌سازی مس منطقه کلاته برق: الف) نمونه خرده سنگی از واحد کنگلومرایی دربردارنده کالکوزیت، مالاکیت، ب) کانی‌های بورنیت و کوولیت بصورت پراکنده در واحد کنگلومرایی، پ) کانی مالاکیت به حالت رگچه‌ای در واحد کنگلومرایی، ت) کانی کالکوزیت به حالت رگچه‌ای، ث) کانی کالکوزیت به حالت پراکنده، ج) کانی بورنیت و کوولیت بصورت جانشینی، (Bn : بورنیت، Cct : کاکوزیت، Cal : کلسیت، Cv : کوولیت، Mlc : مالاکیت [۱۱]).

Minerals	Hypogene	Oxidized zone
Chalcocite	———	
Bornite	- - - -	
Calcite	———	
Chlorite	———	
Malachite		———
Covelite		- - - -

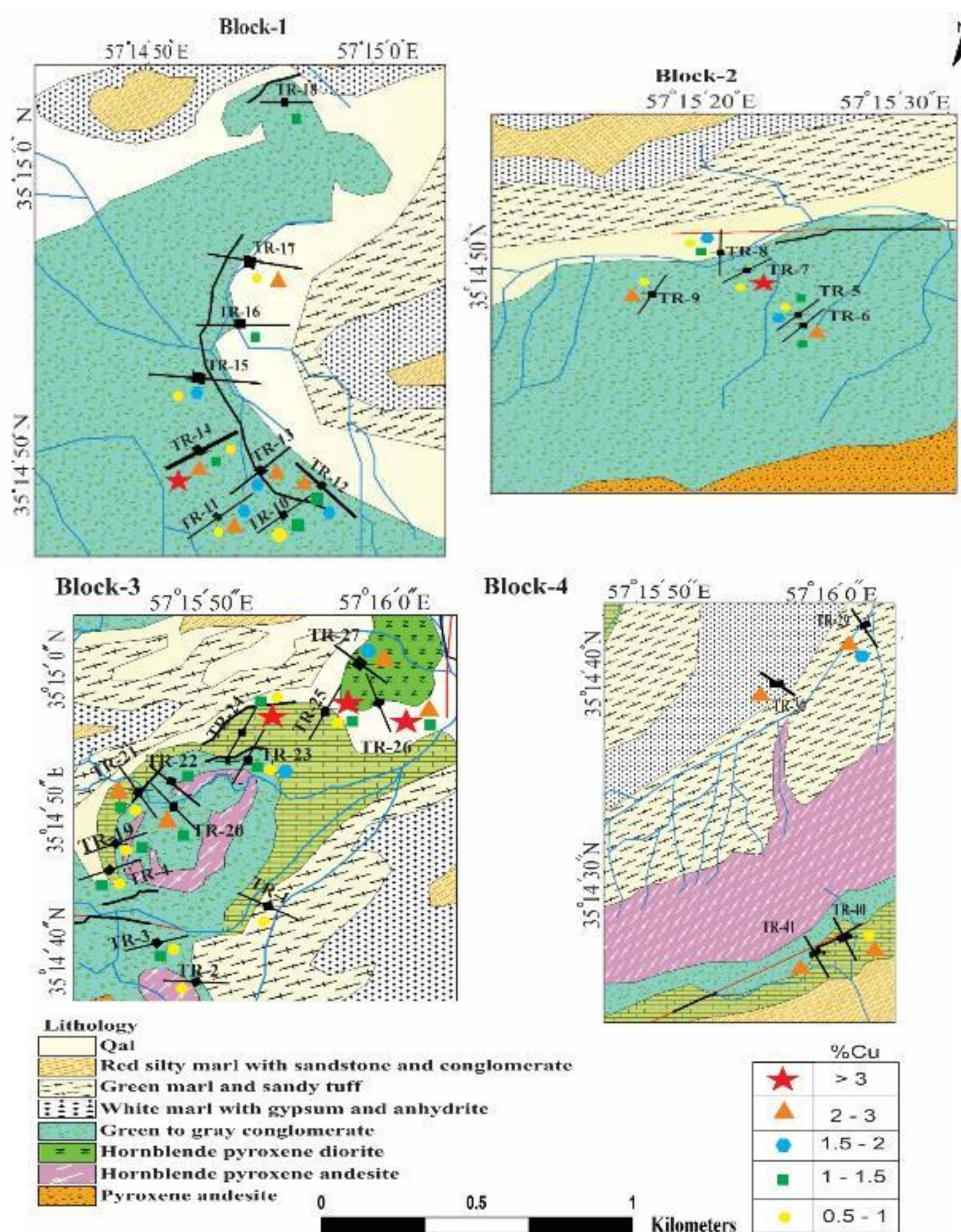
شکل۸ توالی همبرزایی کانی‌های فلزی و غیرفلزی منطقه کلاته برق.

[DOI: 10.61186/ijcm.32.2.227]

زمین شیمی

به منظور بررسی بهتر نتایج تجزیه زمین‌شیمی نمونه‌های برداشت شده از ترانشه‌های اکتشافی برای عنصر مس در منطقه اکتشافی کلاته برق، بخش‌های مختلف منطقه به ۴ قطعه تقسیم شد و هر یک جداگانه ارزیابی شدند. براساس نتایج تجزیه نمونه‌ها در آزمایشگاه مجموعه تکنار، حدود ۹۸ ٪ آن‌ها عیار بیش از ۰٫۱ ٪ مس دارند [۱۰].

ترانشه‌های TR10, TR11, TR12, TR13, TR14, TR15, TR16, TR17, TR18 در این قطعه ۱ و در واحدکنگلومرایی در بخش غرب منطقه قرار دارند. ۲۷ نمونه از این ترانشه‌ها بررسی شدند. کمترین عیار ۰٫۵ ٪ مربوط به TR15 و بیشترین عیار ۳٫۰۷ ٪ مربوط به TR14 در عمق ۹-۷ متر همراه با کانی‌سازی کالکوزیت و دگرسانی کلریتی-کربناتی است (شکل ۹).



شکل ۹ نقشه زمین شیمی منطقه اکتشافی کلاته برق.

[DOI: 10.61186/ijcm.32.2.227]

ترانشه‌های TR5, TR6, TR7, TR8, TR9 در قطعه ۲ و در بخش میانه منطقه و واحدکنگلومرایی حفر شده‌اند. ۱۵ نمونه از این قطعه بررسی شدند که کمترین عیار۰٫۴ ٪ مربوط به TR8 و بیشترین عیار ۲٫۱۵ ٪ مربوط به TR7 در عمق۱۰-۸ متر همراه با کانی‌سازی کالکوزیت و دگرسانی کلریتی-کربناتی است (شکل ۹).

ترانشه‌های TR1, TR2, TR3, TR4, TR19, TR20, TR21, TR22, TR23, TR24, TR25, TR26, TR27 در قطعه ۳ و در بخش شمال شرقی منطقه و در واحدهای کنگلومرایی، واحدآندزیتی و واحد سنگ آهک نومولیتی قرار دارند. ۴۲ نمونه از این قطعه بررسی شدند که کمترین عیار ۰٫۴ ٪ مربوط به TR3 و بیشترین عیار ۳٫۷۸ ٪ مربوط به TR24 در عمق۷-۴ متر در مرز واحدهای کنگلومرا و سنگ آهک همراه با کانی‌سازی کالکوزیت و مالاکیت و دگرسانی کلریتی-کربناتی است (شکل ۹).

قطعه ۴: ترانشه‌های TR29, TR30, TR40, TR41 در قطعه ۴ و در بخش جنوب شرقی منطقه و در واحدکنگلومرایی هم-مرز با واحد سنگ آهک نومولیتی و واحدهای مارنی قرار دارند. ۹ نمونه از این قطعه بررسی شدند که کمترین عیار۰٫۳٪ مربوط به TR30 و بیشترین عیار ۲٫۸۸٪ مربوط به TR40 در عمق ۹-۱۰ متر در مرز واحدهای کنگلومرا و سنگ آهک همراه با کانی‌سازی کالکوزیت و مالاکیت و دگرسانی کلریتی-کربناتی است (شکل ۹).

سرانجام بر پایه نتایج تجزیه نمونه‌های ترانشه‌های اکتشافی در منطقه کلاته برق، گستره تغییرات عیار مس در کل منطقه ۳٫۷۸ – ۰٫۰۲ ٪ است (جدول۱). از آنجاکه میزبان کانی‌سازی در این منطقه واحد کنگلومرایی است، بیشتر ترانشه‌ها در این واحد حفر شدند و بیشترین عیار مس نیز مربوط به واحد کنگلومرایی همراه با کانی‌سازی کالکوزیت و مقدار کمتر مالاکیت در ارتباط با دگرسانی کلریتی- کربناتی است.

جدول۱ نتایج تجزیه نمونه‌های برداشت شده از ترانشه‌های اکتشافی منطقه کلاته برق

ردیف	ترانشه	نمونه	% Cu
1	TR-1	S1, S2, S3	0.02-0.5
2	TR-2	S1, S2, S3, S4	0.5-0.8
3	TR-3	S1, S2, S3	0.4-1.1
4	TR-4	S1, S2, S3, S4	0.5-1.4
5	TR-5	S1, S2, S3, S4	0.6-1.8
6	TR-6	S1, S2	1.3-2
7	TR-7	S1, S2	0.5-2
8	TR-8	S1, S2, S3, S4	0.4-1.8
9	TR-9	S1, S2, S3	0.9-2.1
10	TR-10	S1, S2, S3, S4	0.8-1.2
11	TR-11	S1, S2, S3	0.7-2.1
12	TR-12	S1, S2, S3, S4	1.1-2.2
13	TR-13	S1, S2	1.8-2
14	TR-14	S1, S2, S3, S4, S5	1.5-2.5
15	TR-15	S1, S2, S3	0.5-0.8
16	TR-16	S1, S2	1.4-1.5
17	TR-17	S1, S2	0.6-2
18	TR-18	S1, S2	1.4-1.4
19	TR-19	S1, S2	0.6-1.3
20	TR-20	S1, S2, S3	0.2-2.3
21	TR-21	S1, S2, S3, S4	0.7-2.9
22	TR-22	S1, S2	0.03-1.3
23	TR-23	S1, S2, S3	0.9-1.7
24	TR-24	S1, S2, S3	0.7-3.7
25	TR-25	S1, S2, S3, S4	0.7-3.2
26	TR-26	S1, S2, S3, S4, S5	0.5-3.4
27	TR-27	S1, S2	1.5-2.2
28	TR-28	S1, S2	0.7-1.6
29	TR-29	S1, S2	1.7-2.2
30	TR-30	S1, S2	2.1-2.3
31	TR-31	S1	0.3
32	TR-40	S1, S2, S3	0.6-2.8
33	TR-41	S1	2

[DOI: 10.61186/ijcm.32.2.227]

بحث

مدل کانی‌سازی

کانسارهای مس نوع مانتو در شیلی به عنوان سومین منبع مس، پس از سامانه‌های پورفیری و اکسید آهن-مس-طلا (IOCG) به شمار می‌آیند. عیار مس در این کانسارها از ۰٫۸۵ تا ۳٫۵ درصد متغیر است [۱۲]. این نوع کانسارها در شیلی، شکل چینه کران دارند و در مجموعه سنگ‌های آتشفشانی ژوراسیک و کرتاسه تشکیل شده‌اند. این دسته کانسار در شیلی به عنوان شاخص جهانی این نوع ذخایر مس محسوب می‌شوند که بارزترین آنها کانسار بوئنااسسرانز است [۱۳]. بر پایه بررسی‌های دانشمندان [۱۴،۱۳]، بیشترین رخداد کانه‌زایی مس نوع مانتو در مناطق کششی و در کمربندهای ماگمایی وابسته به فرورانش ژوراسیک تا کرتاسه بوده است. سنگ میزبان کانسارهای نوع مانتو بیشتر سنگ‌های آذرآواری و گدازه‌های آندزیتی بادامی در توالی آتشفشانی آندزیتی- بازالتی آهکی قلیایی تا آندزیتی- داسیتی است [۱۵-۱۷].

سنگ‌های آتشفشانی مجموعه شمال غرب بردسکن سرشت آهکی قلیایی دارند و متاآلومین هستند و در گستره کمان آتشفشانی قاره‌ای وابسته به پهنه فرورانش جای می‌گیرند [۴]. نسبت Zr/Ba نشان‌دهنده خاستگاه گوشته سنگ کره‌ای و نسبت Sm/Yb بیانگر نبود یا کم بودن گارنت در ناحیه خاستگاه است. این ماگما از ذوب بخشی یک اسپینل لرزولیت فلوگوپیت‌دار شکل گرفته است [۴]. جدول ۲ ویژگی‌های اصلی کانسارهای نوع مانتو در شیلی را با کانسارهای شمال غرب بردسکن و منطقه مورد بررسی در این پژوهش مقایسه می‌کند.

سنگ میزبان کانسارهای نوع مانتو بیشتر آندزیت، ریوداسیت و دیگر سنگ‌های آتشفشانی و رسوبی است. در این بین، در منطقه اکتشافی کلاته برق، سنگ میزبان با کانسارهای نوع مانتو متفاوت است و بیشتر در افق ویژه‌ای از واحدکنگلومرایی به علت تخلخل مناسب قرار دارد. در ذخایر نوع مانتو، دایک و سیل با ترکیب گابرو و دیوریت به عنوان سامانه تغذیه کننده معرفی شده‌اند [۱۸]. در منطقه کلاته برق نیز، رخنمون بسیار محدود دایک‌ها با ترکیب دیوریتی دیده می‌شود.

کانی‌سازی در کانسارهای نوع مانتو اغلب شکل چینه‌کران دارد و بیشتر به‌صورت رگه-رگچه‌ای، پرکننده، جانشینی و پراکنده است. از این نظر، منطقه اکتشافی کلاته برق که شکل غالب کانی‌سازی در آن رگچه‌ای، پرکننده و پراکنده است، همخوانی خوبی با کانسارهای نوع مانتو دارد. کانی‌شناسی ماده معدنی در بیشتر ذخایر نوع مانتو به طور کلی شامل کالکوزیت، بورنیت، کالکوپیریت، دیژنیت، مس طبیعی و به‌همراهی کمی اسفالریت است [۲۰،۱۹،۱۴]. در منطقه مورد بررسی نیز کانی اصلی کالکوزیت و کانی جزئی بورنیت هستند.

جدول۲ مقایسه کانی‌سازی مس در منطقه کلاته برق با کانسارهای تیپ مانتو در ایران و شیلی

ویژگی	مانتو نوع شیلی	منطقه اکتشافی کلاته‌برق	مس نسیم	مس زنگالو	کال ابری
موقعیت زمین ساختی	کمان‌های آتشفشانی کرانه فعال قاره‌ای	کمربند ماگمایی در ارتباط با پهنه فرورانش	کمربند آتشفشانی در ارتباط با پهنه فرورانش	کمربند آتشفشانی در ارتباط با پهنه فرورانش	کمربند ماگمایی در ارتباط با پهنه فرورانش
سنگ میزبان	آندزیت، ریوداسیت و سایر سنگ‌های آتشفشانی رسوبی	کنگلومرا	کنگلومرا	کنگلومرا	آهک و کنگلومرا
هندسه	چینه کران	چینه کران	چینه کران	چینه کران	چینه کران
کانی‌های اصلی	کالکوزیت،بورنیت،کالکوپیریت، دیژنیت	کالکوزیت و کمی بورنیت	کالکوزیت	کالکوزیت	کالکوزیت، بورنیت، مس طبیعی و کمی کالکوپیریت
ساخت و بافت	رگه-رگچه‌ای، پرکننده فضای خالی، پراکنده، جانشینی	رگه-رگچه‌ای، پرکننده فضای خالی، پراکنده، جانشینی	پرکننده حفره ها، پراکنده، رگچه‌ای و جانشینی	پرکننده حفره ها، پراکنده، رگچه‌ای و جانشینی	رگه-رگچه‌ای، پرکننده فضای خالی، پراکنده، جانشینی
باطله همراه رگچه‌ها	کربنات، کلریت و سیلیس محدود	کربنات، کلریت	کلریت- کربنات	کلریت- کربنات	کلسیت و کلریت
دگرسانی	کربناتی- کلریتی	کربناتی-کلریتی	کربناتی- کلریتی	کربناتی، کلریتی	کربناتی- کلریتی
مرجع	[۲۳،۲۲،۲۱،۱۶]	پژوهش حاضر	[۶]	[۴]	[۲]

[DOI: 10.61186/ijcm.32.2.227]

دگرسانی‌ها درکانسارهای نوع مانتو اغلب گسترش چندانی ندارند و بیشتر از نوع آلبیتی، کلریتی، اپیدوتی، سیلیسی، کلسیتی و اکسیدآهنی هستند [۲۴،۱۷،۱۵،۱۳] که از این میان، پهنه‌های کربناتی و سیلیسی گسترش بیشتری دارند [۲۶،۲۵]. البته باتوجه به شیمی محلول در کانسارهای مانتو، دگرسانی اپیدوتی و سیلیسی نمی‌تواند در ارتباط با کانی‌سازی مس باشد و این دگرسانی در ارتباط با پیش یا پس از کانه‌زایی است. برای تشکیل اپیدوت، محلول باید غنی از آهن و اکسایشی باشد، از این رو اپیدوت نمی‌تواند در زمان کالکوزیت تشکیل شده باشد. همچنین از آنجا که همراه با کالکوزیت، کوارتز دیده نمی‌شود، می‌توان گفت که محلول گرمابی فقیر از سیلیس بوده و وجود موادآلی همراه با کانی کالکوزیت نشان‌دهنده احیایی بودن محلول است [۶]. دگرسانی‌ها در منطقه کلاته برق نیز به دو بخش دگرسانی پیش از کانی‌سازی که بیشتر پروپیلیتی با شدت‌های مختلف یا کربناتی شدید است و دگرسانی در ارتباط با کانی‌سازی قابل تفکیک هستند. کانی‌سازی در ارتباط با دگرسانی کلریتی-کربناتی است.

چگونگی تشکیل

در ارتباط با خاستگاه و شرایط تشکیل رسوب‌های نوع مانتو نظریه‌های متفاوتی وجود دارد. برخی معتقدند که چرخش سیال در واحدهای سنگی عامل اصلی کانی‌سازی در رسوب‌های نوع مانتو است و افزون بر آن، درونزایی دفنی و دگرگونی را خاستگاه این سیال می‌دانند [۲۷-۲۹]. در مورد الگوی تشکیل کانسارهای نوع مانتو سه نظریه مختلف ارائه شده است (۱) ذخایر آتشفشانی همزاد [۲۷]، (۲) ذخایر روزادی همراه با توده‌های نفوذی [۲۹،۲۸] و (۳) ذخایر روزادی با میزبان آتشفشانی- رسوبی همراه با توده‌های نفوذی [۲۶،۱۹،۱۶]. نظریه نخست به دلیل جوانتربودن کانی‌سازی از سنگ میزبان در سن‌سنجی‌های انجام شده و همچنین وجود ۴-۵ درصد مگنتیت اولیه در سنگ‌های آتشفشانی رد می‌شود. اگر سنگ آتشفشانی دگرسان شود و سپس محلول کانه‌دار غنی از مس از آن شسته شود، این محلول نمی‌تواند فقیر از سیلیس، آهن و آلومینیوم باشد. کانی اصلی مس در این کانسارها کالکوزیت بوده و مقدار کالکوپیریت و کانی‌های آهن‌دار مس بسیار جزئی است. همچنین باطله اصلی همراه با کالکوزیت، کلریت و کلسیت هستند. از این رو، سنگ آتشفشانی در هیچ شرایطی نمی‌تواند خاستگاه مس باشد و در نتیجه این نظریه رد شده است [۶]. از سوئی، برای شسته‌شدن مس با مقادیر بالا از سنگ‌های آتشفشانی میزبان، سیال باید دارای شرایط اسیدی (pH<4) باشد. این شرایط می‌تواند موجب دگرسانی آرژیلیکی شوند، درحالیکه در منطقه مورد پژوهش، دگرسانی آرژیلیکی در ارتباط با کانی‌سازی وجود ندارد. دگرسانی‌ها در ارتباط با کانی‌سازی کلریتی و کربناتی هستند. از این رو، اسیدیته محلول کانه‌دار بیش از ۷ است. در نظریه دوم، نفوذ دایک‌های گابرو- دیوریتی و آبشویی سنگ‌های آذرین عامل اصلی تشکیل مس در نظر گرفته شده است. اما بررسی‌ها نشان می‌دهد که در همه جا، ارتباط خوبی بین توده‌های نفوذی و کانی‌سازی دیده نمی‌شود. همچنین اگر خاستگاه مس از توده‌های نفوذی باشد، به طور قطع باید غنی از سیلیس، آهن و آلومینیوم باشد و اغلب افزون بر مس، دربردارنده عناصری چون سرب و روی است [۶].

به طور کلی، منبع مس در این کانسارها قابل توجه و بررسی است. افزون بر آن، رخداد یک کانی‌سازی گسترده نیازمند محیط مناسب برای ورود و ته‌نشست محلول‌کانه‌دار است. این شرایط در منطقه کلاته برق درون واحد کنگلومرایی به‌دلیل تخلخل و نفوذپذیری بالا و همچنین حضور سنگ‌آهک به‌عنوان سد در برابر مهاجرت محلول کانه‌دار فراهم شده است. براساس شواهد اشاره شده، فرض اینکه سنگ آتشفشانی میزبان بعنوان منبع مس در نظرگرفته شود، پذیرفته نیست.

رخداد کانی‌سازی مس در منطقه اکتشافی کلاته برق در چند مرحله قابل بررسی است؛ نخست فعالیت ماگمایی موجب تشکیل سنگ‌های آتشفشانی با ترکیب آندزیتی می‌شود. در مرحله دوم، واحد کنگلومرایی با قطعه‌های آذرین و سیمان کربناتی تشکیل می‌شود. در مرحله بعد با بالا آمدن سطح آب، واحد سنگ‌آهک در محیط کم عمق دریایی تشکیل می‌شود. ادامه رسوبگذاری باعث افزایش، ضخامت دنباله آتشفشانی-رسوبی حوضه‌ی ائوسن شده و در پی این افزایش ضخامت رسوب‌ها سبب افزایش عمق دفن، افزایش فشار و دما می‌شود.

[DOI: 10.61186/ijcm.32.2.227]

به احتمال بسیار، مس از منبع مناسب در عمق زیاد شسته می‌شود که از راه گسل‌های به نسبت عمیق در واحدهای سنگی به سمت بالا حرکت می‌کند. سیال کانه‌دار طی حرکت دستخوش تغییرات بسیاری می‌شود و مس را بیشتر بصورت سولفیدهای اولیه (کالکوزیت) در واحدهای سنگی با نفوذ پذیری بالا چون واحدکنگلومرایی برجای می‌گذارد. در مرحله اکسایش، کانی‌های اولیه مس براثر هوازدگی در رخنمون‌های سطحی به کانی‌های ثانویه چون مالاکیت، کوولیت تبدیل شده‌اند.

برداشت

منطقه اکتشافی کلاته برق از نظر موقعیت زمین‌ساختی در کمربند آتشفشانی وابسته به پهنه فرورانش قرار دارد. واحد کنگلومرایی بدلیل تخلخل بالا مناسب‌ترین سنگ میزبان کانی‌سازی در منطقه است؛ کانی‌سازی در ارتباط با دگرسانی کلریتی-کربناته است. ساخت و بافت کانی‌سازی از نوع رگچه‌ای، پراکنده و پرکننده است. کانه اصلی مس در منطقه مورد بررسی کالکوزیت و به مقدار جزئی بورنیت است باتوجه به ویژگی‌های بیان شده، منطقه اکتشافی مس کلاته برق بیشترین شباهت را به کانسارهای نوع مانتو (چینه کران) دارد. سرانجام مجموعه آتشفشانی- رسوبی ائوسن در جنوب پهنه سبزوار از آنجاکه میزبان تعداد زیادی از کانی‌سازی‌های مس چون کال ابری، زنگالو، نسیم و رهبری با ویژگی‌های مشابه است، به‌عنوان یک منطقه مهم پی‌جویی برای کانسارهای مس مانتو در ایران معرفی می‌شود و ضرورت دارد که برنامه‌های تفضیلی اکتشافی در دستور کار قرار گیرد. از آنجا که کانی‌سازی کنترل سنگ‌شناسی دارد، لایه کنگلومرایی به عنوان یک لایه اکتشافی و کلیدی مهم در منطقه معرفی می‌شود.

قدردانی

این پژوهش با حمایت معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه فردوسی مشهد در ارتباط با طرح شماره ۳/۵۷۰۸۸ مورخ ۱۴۰۰/۱۲/۲۱ انجام شده است. نگارندگان از آقای مهندس جواد صاحبی خادر و آقای رمضان‌پور برای حمایت در برداشت‌های صحرایی سپاسگزارند.

مراجع

[1] Ghaemi F., Mousavi Harami R., " *map 1:100000 Daroneh*", Organization of Geology and Mineral Exploration of Iran, (1385).

[2] Jabbari E., Malekzadeh Shafaroudi A., and Karimpour M.H., " *Kalabri stratabound (manto-type) copper deposit in Eocene volcanic-sedimentary complex of NW Bardaskan, NE Iran (in Persian)"*, Journal of Advanced Applied Geology (2017)1-19.

[3] Amini Zahan H., Melkzadeh Shafaroudi A., Karimpour M.H., "*Geology, mineralogy and geochemistry in Kimia copper mining area, north-west of Bardskan (in Persian)"*, 12th conference of Iranian Economic Geology Association, Boali Sina University, Hamedan(2019).

[4] Ghilichkhani M., Melkzadeh Shafaroudi A., Karimpour M.H., Hammam M., " *petrography, geochemistry and tectonic setting of volcanic rocks in the north of Bardskan: a case study of Zangalu mine (in Persian)"*, Journal of Petrology (1400)1-22.

[5] Soltani A., Fardust F., "*Mineralization, geochemistry and genesis of Abri, Rahbari and Cheshmeh-Marzieh, NE Darouneh (in Persian)"*, M.Sc. thesis, Shahroud Industrial University, Shahroud, Iran (2017).

[6] Ramazaniabbakhsh T., Krimpour M.H., Azizi H., Rahimi B., " *Metallogeny of Manto copper deposits, special view in the Nasim copper deposit, northwest of Bardeskan, Razavi Khorasan (in Persian)"*, Journal of Economic Geology (2023),143–174.

[7] Sahandi M.R., Soheili M., Sadeghi M., Delavar S.T, Jafari Rad A., "Geological map of Iran with a scale of 1: 1000000", (2002).

[8] Karimpour M.H., Rezai R, Zarasondi A and Malekzadeh Shafaroudi" *A Saveh-Nain-Jiroft Magmatic Belt replaces Urumieh-Dokhtar Magmatic Belt: Investigation of genetic relationship between porphyry copper deposits and adakitic and non-adakitic granitoids (in Persian with English abstract)* ". Journal of Economic Geology, (2021) 465-506.

[9] Eftekharnejad J., Aghanabati A., and Hamzehpour B., "*1:250000 Kashmar geological*

[DOI: 10.61186/ijcm.32.2.227]

map",Geological Survey and Mining Exploration of Iran (1976).

[10] Jafari M., "*Final report of copper Exploration in Kalateh Bargh*",1400(1-146).

[11] Whitney D.L., Evans B.W., "*Abbreviations for names of rock-forming minerals"*, American Mineralogist (2010)185- 187.

[12] Maksaev V., Zentilli M., "*Chilean strata-bound Cu-(Ag) deposits: an overview. In porter, T.M. (Ed.), Hydrothermal Iron Oxide Copper-Gold and Related Deposits"*, A Global Perspective, vol.2. PGC Publishing, Adelaide (2002)163-184.

[13] Espinnoza R.S., Veliz., G.H., Esquivel L.J., Arias F.J., and Moraga B.A.,*"The cupriferous province of the coastal ranges, Northern Chile*", In: Camus F., Sillitoe R.H., Petersen R., (eds.) Andean copper deposits: new discoveries, mineralization, styles and metallogeny. Spetial publication (1996)19-32.

[14] Ramirez L.E., Palacios C., Townley B., Parada M.A., Sial A.N., Turiel J.L.F., Gimeno D., Valles M.G., Lehmann B., " *the Mantos Blancos copper deposit: an upper Jurassic breccia- style hydrothermal system in the Coastal Range of Northern Chile"*, Mineralium Deposita (2006)246-258.

[15] Wilson N. S., Zentilli M., & Spiro B., "*A sulfur, carbon, oxygen, and strontium isotope study of the volcanic hosted ElSoldado manto-type copper deposit ",* Economic Geology (2003)163-174.

[16] Tosdal R.M., Munizaga F., " *Lead sources in Mesozoic and Cenozoic Andean ore deposits,north-central Chile (30–34_S) "* , Mineralium Deposita (2003)234–250.

[17] Tristá, Aguilera D., Barra F., Ruiz J., Morata D., Talavera-Mendoza O., Kojima S., Ferraris F., " *Re – Os isotope systematics for the Lince–Estefanía deposit: constraints on the timing and source of copper mineralization in a strata bound copper deposit, Coastal Cordillera of Northern Chile"*, Mineralium Deposita (2006)99–105.

[18] Samani B., "Metallurgy of *Manto copper deposite in iran (in Persian)"*, The 6th Conference of Geological Society of Iran, Organization of Geology and Mineral Exploration of Iran (1381).

[19] Kojima S., Astudillo J., Rojo J., Trista D., Hayashi K., "*Ore mineralogy, flid inclusion and stable isotopic characteristics of stratiform copper deposits in the coastal Cordillera of northern Chile*", Mineralium Deposita (2003) 208-216.

[20] Oliveros V., Feraud G., Aguirre L., Ramirez L., Fornary M., Palacios C., *" Detailed 40Ar/39Ar dating of geologic events associated with the MantosBlancos copper deposit northern Chile*", Mineralium Deposita (2008)281-293.

[21] Wilson N.S.F., Zentilli M., " *Association of pyrobitumen with copper mineralization from the Uchumi and Talcuna districts, central Chilie*", Internation Journal of coal Geology (2006) 158-169.

[22] Taylor S.R., Mclennan S.M.," *The continental crust: its composition and evolution*", Blavkwell, Oxford(1985).

[23] Morata D., Aguirre L., Feraud G., Fuentes F., Parada M.A., Vaergara M.," *The lower Cretaceous volcanism I the Coastal Range of central Chile: geochronology and isotopic geochemistry, III South American Symposium on Isotope Geology* ", Sociedad Geologica de Chili, Santiago, Chile (2001) 321-324.

[24] Sato T., " *Manto type copper deposits in Chile*", a review, Bulletin of the geological survey of Japan (1984) 565-582.

[25] Cabral A.R, Beaudoin G, "*Volcanic Red Bed Copper mineralization related to submarine basalt alteration*", Mont Alexandre, Quebec Appalachians, Canada, Mineralium Deposita (2007)901-912.

[26] Kojima S., Trista A.D., Hayashi K.I., "*Genetic aspects of the manto-type copper deposits based on geochemical studies of North Chilean deposits* ", Resource geology (2007)87-98.

[27] Ruiz C., Aguilar A., Egert E., Espinoza W., Puebles F., Quezada R., Serrano M., " *Strata-bound copper sulphide deposits of Chile*", Society of Mineralogy and Geology of Jappan, Spec(1971) 252 – 260.

[28] Palacios C., *"Geology of the Buena Esperanza coppersilver deposit Northern Chile,* " In: Fontboté, L., Amstutz G.C., Cardozo M., Cedillo

E., Frutos J., (eds.) Stratabound ore deposits in the Andes, Springer-Verlag, Berlin(1990)313 – 318 .
[29] Vivallo W., Henríquez F., " *Génesis común de los yacimientos estratoligados y vetiformes de cobre del Jurásico Medio a Superior en la Cordillera de la Costa, Región de Antofagasta, Chile*", Revista Geology Chile (1998) 199 – 228